

## Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Ευθυμίου Νικόλαος<sup>1</sup>, Καραβίτης Χρίστος<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων. Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα, [efthimiounik@yahoo.com](mailto:efthimiounik@yahoo.com), [ckaravitis@aua.gr](mailto:ckaravitis@aua.gr)

### Περίληψη

Στόχος της εργασίας είναι η αξιολόγηση της επίδρασης της χωρικής κατανομής των χρήσεων γης στην εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης. Για την επίτευξη του εφαρμόζεται το εμπειρικό ομοίωμα διάβρωσης RUSLE (Revised Universal Soil Loss equation) σε περιβάλλον ΓΠΣ (Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων) στη λεκάνη απορροής του Άνω Ρου του ποταμού Αχελώου. Το ομοίωμα εκτιμά την τοπική εδαφική διάβρωση ως το γραμμικό γινόμενο πέντε επιμέρους συντελεστών οι οποίοι υποδεικνύουν την επίδραση των παραμέτρων του κλίματος, του εδάφους, της τοπογραφίας, των χρήσεων γης και της ανθρωπογενούς δράσης στην γέννηση και εξέλιξη του φαινομένου. Ειδικότερα, ο συντελεστής φυτοκάλυψης C υπολογίζεται χρησιμοποιώντας δύο ξεχωριστά υπόβαθρα χρήσεων γης. Το πρώτο αφορά την κατηγοριοποίηση του προγράμματος CORINE Land Cover (2000) και το δεύτερο ένα πανελλαδικό χάρτη βλάστησης που καταρτίστηκε από το ΕΘΙΑΓΕ (Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικών Ερευνών). Η εφαρμογή γίνεται σε ετήσιο και υπέρ-ετήσιο χρονικό βήμα (1965-92), μια φορά για κάθε ξεχωριστή ανάλυση φυτοκάλυψης. Καθώς οι υπόλοιποι παράγοντες διατηρούνται αμετάβλητοι, οι αποκλίσεις μεταξύ των δύο προσεγγίσεων αποδίδονται στις διαφορετικές περιγραφές του συντελεστή C. Η επικύρωση των αποτελεσμάτων γίνεται μέσω της αξιολόγησης της σύγκλισης της προσομοιωμένης με την παρατηρημένη χρονοσειρά στερεοαπορροής. Η τελευταία καταρτίζεται χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία των καμπυλών παροχής-στερεοπαροχής (μέθοδος τεθλασμένης παλινδρόμησης), λαμβάνοντας υπόψη τις μετρήσεις παροχής και των ζευγών παροχής-στερεοπαροχής που ελήφθησαν από τη ΔΕΗ (Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού). Συνολικά, η εφαρμογή του ομοιώματος RUSLE με τη χρήση του υποβάθρου CORINE απέδωσε καλύτερα, προσεγγίζοντας ορθότερα τις συνθετικές τιμές στερεοαπορροής, επιτρέποντας παράλληλα την ταυτοποίηση των πιο επιρρεπών στη διάβρωση περιοχών.

**Λέξεις κλειδιά:** Εδαφική διάβρωση, RUSLE, Άνω Ρους Αχελώου, Συντελεστής φυτοκάλυψης C, Χρήσεις γης

## 1. Εισαγωγή

Η φυτική κάλυψη έχει καθοριστικό ρόλο στη μείωση της εδαφικής διάβρωσης, λειτουργώντας ως προστατευτικό στρώμα. Κατά τους Gyssels et al. (2005) η εδαφική απώλεια μειώνεται εκθετικά καθώς αυξάνεται η φυτική κάλυψη. Η φυτοκόμη απορροφά πλήρως ή μερικώς την κινητική ενέργεια της βροχόπτωσης, μειώνοντας επιπλέον τον όγκο του νερού που καταλήγει στο έδαφος. Το ριζικό σύστημα ενισχύει τις μηχανικές ιδιότητες του εδάφους, μειώνει την ταχύτητα της επιφανειακής απορροής ενώ συντηρεί και αυξάνει τη διήθηση (Morgan, 2005). Συνολικά, ο ρόλος της φυτικής κάλυψης στην προσομοίωση της διάβρωσης είναι υψίστης σημασίας, δεδομένου ότι τα χαρακτηριστικά κάθε διαφορετικού τύπου χρήσης γης επηρεάζουν άμεσα το δυναμικό «παραγωγής» φερτών υλικών της εκάστοτε λεκάνης απορροής.

Η προστατευτική δράση της φυτικής κάλυψης εκφράζεται στο εμπειρικό ομοίωμα εδαφικής διάβρωσης USLE (Universal Soil Loss Equation) των Wischmeier and Smith (1978) καθώς και στην αναθεωρημένη του (RUSLE) μορφή (Renard et al. 1991, 1994) από τον συντελεστή φυτοκάλυψης C (ενσωματώνει επιπλέον την επίδραση των τεχνικών οργώματος, των καλλιεργητικών και των μετα-συλλεκτικών τεχνικών). Ο τελευταίος ορίζεται ως ο λόγος της εδαφικής απώλειας (ΛΕΑ) από αγρό με συγκεκριμένη καλλιέργεια και διαχείριση {συνεπώς εμφανίζει χρονική διακύμανση (εποχή, στάδιο ανάπτυξης φυτών), εκτιμώμενος ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των ΛΕΑ, οι οποίοι μεταβάλλονται καθώς διαφοροποιούνται τα χαρακτηριστικά του εδάφους και της φυτοκάλυψης κατά τη διάρκεια του έτους} προς την αντίστοιχη απώλεια από αγρό πανομοιότυπων χαρακτηριστικών (τύπος εδάφους, κλίση κα) που βρίσκεται συνεχώς σε αγρανάπαυση (Wischmeier and Smith, 1978). Οι τιμές του κυμαίνονται από 0 (ισχυρή προστασία) έως 1 (μηδενική προστασία). Σύμφωνα με τους Renard and al. (1991) ο συντελεστής C είναι ο σημαντικότερος από τους παράγοντες της RUSLE, καθώς αντιπροσωπεύει τις ευκολότερα μεταβαλλόμενες συνθήκες στην προσπάθεια μείωσης της εδαφικής διάβρωσης.

Στην πλειοψηφία των μελετών ο παράγοντας C εκτιμάται αποδίδοντας βιβλιογραφικές τιμές σε ένα κατηγοριοποιημένο χάρτη χρήσεων γης (Morgan 2005, De Vente et al. 2009). Στην Ευρώπη, ένας τέτοιος χάρτης παρέχεται από το πρόγραμμα

CORINE (Coordination of Information on the Environment) Land Cover (CLC), το οποίο αποτελεί πλέον μια καθιερωμένη προσέγγιση. Εν τούτοις, η εν λόγω μεθοδολογία δεν περιγράφει επαρκώς τη διαφοροποίηση της φυτικής κάλυψης σε μεγάλες χωρικές κλίμακες, λαμβάνοντας υπόψη τη στατική φύση (σταθερές ανά κλάση τιμές) του C (Wang et al., 2002), ενώ παρατηρούνται και λάθη ταξινόμησης. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων χρησιμοποιούνται συχνά κοινές προσεγγίσεις δορυφορικών εικόνων και μετρήσεων πεδίου (Cihlar, 1987), με τις τελευταίες όμως να είναι δύσκολες, χρονοβόρες και υψηλού κόστους. Ο δείκτης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) αποτελεί μια ακόμη (ενδιάμεση) προσπάθεια προσδιορισμού του συντελεστή C χρησιμοποιώντας δεδομένα τηλεπισκόπησης.

Στην παρούσα μελέτη, ο παράγοντας C υπολογίζεται στην υδρολογική λεκάνη του Άνω Ρου του ποταμού Αχελώου χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικά υπόβαθρα φυτικής κάλυψης. Το πρώτο προέρχεται από το CLC (2000) και το δεύτερο από ένα εναλλακτικό πανελλαδικό χάρτη βλάστησης ο οποίος καταρτίστηκε το 2009 από το ΕΘΙΑΓΕ (Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικών Ερευνών). Στην συνέχεια αξιολογείται η επίδραση της κάθε προσέγγισης στην εδαφική διάβρωση, εκτιμώντας το βαθμό σύγκλισης μεταξύ της προσομοιωμένης (RUSLE) και της παρατηρημένης {υπολογίζεται βασιζόμενη στη μεθοδολογία καμπυλών παροχής-στερεοπαροχής, χρησιμοποιώντας μετρήσεις πεδίου που παρέχονται από τη ΔΕΗ (Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού)} χρονοσειράς στερεοαπορροής στην έξοδο της λεκάνης.

Ο Άνω Ρους του ποταμού Αχελώου επελέγη ως αντικείμενο μελέτης, καθώς αποτελεί τμήμα ενός εκ των βασικότερων συστημάτων υδατικών πόρων της χώρας, καλύπτοντας τις υδρευτικές, αρδευτικές και ενεργειακές ανάγκες της τοπικής κοινωνίας, συμβάλλοντας επιπλέον στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα της περιοχής. Παράλληλα, η υψηλή παρατηρημένη στερεοαπορροή του καθιστά απαραίτητη την προσομοίωση και την ορθή εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης, με στόχο την αντιμετώπιση της πρόσχωσης του ταμιευτήρα του φράγματος Αυλάκι. Η διαθεσιμότητα των απαραίτητων δεδομένων εισόδου (εφαρμογή ομοιώματος) και εξόδου (αξιολόγηση αποτελεσμάτων) αποτέλεσαν επίσης καθοριστικούς παράγοντες για την εκλογή του.

## **2. Υλικά και Μέθοδοι**

### **2.1. Περιοχή μελέτης**

Η υδρολογική λεκάνη του Άνω Ρου του ποταμού Αχελώου (έκταση ανάντη του φράγματος Αυλάκι) βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του Υδατικού Διαμερίσματος της

Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, περιλαμβάνοντας τμήματα των νομών Αιτωλοακαρνανίας, Ευρυτανίας, Καρδίτσας, Άρτας, Τρικάλων και Ιωαννίνων (Σχήμα 1).



**Σχήμα 1: Περιοχή μελέτης**

Η λεκάνη κατηγοριοποιείται μορφολογικά ως ορεινή, με το μεγαλύτερο μέρος της να καλύπτεται από δάση. Οι σημαντικά λιγότερες πεδινές εκτάσεις και οι αγροτικές περιοχές εντοπίζονται κυρίως στο νότιο τμήμα της. Το κλίμα και το υδρολογικό καθεστώς είναι Μεσογειακού τύπου. Το γεωλογικό υπόβαθρο {κατά τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) κλίμακας 1:50.000} περιλαμβάνει κυρίως ασβεστολίθους, σχηματισμούς φλύσχη καθώς και νεότερους σχηματισμούς (αλλουβιακές αποθέσεις, ποτάμιες αναβαθμίδες, κορήματα). Τα βασικά χαρακτηριστικά της περιγράφονται στον Πίνακα 1 (Ευθυμίου, 2016).

Η ΔΕΗ παρέιχε τις μηνιαίες τιμές παροχής ( $Q$ ,  $m^3 s^{-1}$ ) και τα ζεύγη (30 ταυτόχρονες μετρήσεις) παροχής-στερεοπαροχής στην έξοδο της υδρολογικής λεκάνης (φράγμα Αυλάκι). Οι μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της συνθετικής χρονοσειράς στερεοπαροχής, με την εφαρμογή της μεθοδολογίας των καμπυλών παροχής-στερεοπαροχής «τεθλασμένη παλινδρόμηση» (Koutsoyiannis, 2000).

**Πίνακας 1: Βασικά χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής**

A ( $km^2$ )	H <sub>min</sub> (m)	H <sub>mean</sub> (m)	H <sub>max</sub> (m)	J (%)	L (km)	P (mm)	Q ( $m^3 s^{-1}$ )	Qs ( $kg s^{-1}$ )
1354,9	379,1	1224,7	2406,3	21,5	116,0	1657,0	57,1	191,8

A: εμβαδόν, H<sub>min</sub>/ H<sub>mean</sub>/ H<sub>max</sub>: ελάχιστο/ μέσο/ μέγιστο υψόμετρο, J: μέση κλίση, L: μήκος κύριου υδατορεύματος, P: μέση ετήσια βροχόπτωση (1965-92), Q: μέση ετήσια παροχή (1965-92), Qs: μέση ετήσια (προσομοιωμένη) στερεοπαροχή σε αιώρηση (1965-92)

## 2.2. Ομοίωμα RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)

Το ομοίωμα RUSLE (Renard et al. 1991, 1994) υπολογίζει την τοπική εδαφική διάβρωση (μέση ετήσια εδαφική απώλεια ανά μονάδα επιφάνειας) A ( $t ha^{-1} y^{-1}$ ) ως το

απλό γραμμικό γινόμενο πέντε επί μέρους παραγόντων {συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης  $R$  ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ), συντελεστής διαβρωσιμότητας του εδάφους  $K$  ( $\text{t ha MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ), τοπογραφικός συντελεστής  $LS$  (αδιάστατος), συντελεστής φυτοκάλυψης  $C$  (αδιάστατος), συντελεστής διαχείρισης του εδάφους κατά της διάβρωσης  $P$  (αδιάστατος)}, οι οποίοι υποδεικνύουν αντίστοιχα την επίδραση του κλίματος, του εδάφους, της τοπογραφίας, της φυτοκάλυψης και της ανθρωπογενούς δράσης στην γέννηση και εξέλιξη του φαινομένου, σύμφωνα με την εξίσωση 1.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

### 2.3. Χάρτης βλάστησης ΕΘΙΑΓΕ

Ο χάρτης βλάστησης του ΕΘΙΑΓΕ (2009) ταξινομεί τις χρήσεις γης στην Ελλάδα σε 29 διαφορετικές κατηγορίες, ενώ παρέχονται επιπλέον πληροφορίες σχετικά με παραμέτρους όπως η συγκόμωση και ο ξυλώδης όγκος/ ha. Τα στοιχεία φωτοερμηνείας προέρχονται από ορθοφωτοχάρτες βλάστησης κλίμακας 1:20.000 διαφόρων ετών (1960-1998). Ως προς τους επιστημονικούς στόχους και τα ερευνητικά ενδιαφέροντα του ιδρύματος, έχει δοθεί ιδιαίτερη σημασία στη χαρτογράφηση των ορεινών και ημιορεινών (δασικών) περιοχών της χώρας, σε αντίθεση με τις πεδινές περιοχές οι οποίες αναλύονται πιο αδρομερώς.

### 2.4. Πρόγραμμα CORINE Land Cover (CLC)

Το πρόγραμμα CLC είναι το παράγωγο της σύνθεσης εθνικών καταλόγων χρήσεων γης που ενοποιήθηκαν σε μια συνολική κάλυψη της Ευρώπης. Το παραγόμενο αποτέλεσμα είναι μια Ευρωπαϊκή βάση δεδομένων, η οποία εκκίνησε το 1985 (έτος αναφοράς 1990) και ύστερα από μια σειρά αναθεωρήσεων (2000, 2006) βρίσκεται πλέον στην τέταρτη της έκδοση (2012).

Το CORINE χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό δορυφορικών εικόνων με βοηθητικά δεδομένα ώστε να αποκαλύψει την υφιστάμενη πληροφορία των εδαφικών πόρων. Για τη φωτοερμηνεία χρησιμοποιήθηκαν απεικονίσεις τηλεπισκόπησης LANDSAT TM (λήψη 1987). Σαν βοηθητικά στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000 και 1:100.000, αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:30.000 (λήψη μεταξύ 1986-1990) και ορθοφωτοχάρτες κλίμακας 1:20.000. Θεωρεί μια Ελάχιστη Χαρτογραφική Μονάδα (EXM) 25 ha για τα χωρικά δεδομένα και ελάχιστο πλάτος 100 m για τα αντίστοιχα γραμμικά.

Το πρόγραμμα αποτελείται από διάφορα υποπρογράμματα, τα οποία διακρίνονται θεματικά σε 6 κατηγορίες (γεωγραφική βάση δεδομένων, φύση, εδάφη, ατμόσφαιρα, υδάτινοι πόροι, κοινωνικά και οικονομικά δεδομένα). Η ονοματολογία για την κάλυψη γης περιλαμβάνει 3 επίπεδα. Το πρώτο περιλαμβάνει τις 5 κύριες κατηγορίες κάλυψης (παγκόσμια κλίμακα), το δεύτερο 15 κατηγορίες (κλίμακες 1:500.000 και 1:1.000.000) και το τρίτο 44 κατηγορίες (κλίμακα 1: 100.000).

### 3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

#### 3.1. Εκτίμηση των συντελεστών R, K, LS, P

Ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R υπολογίζεται εμπειρικά, χρησιμοποιώντας την εξίσωση των Van der Knijff et al. (2000) (Εξίσωση 2), όπου  $a$  είναι μια παράμετρος προσδιορισμού που λαμβάνει την τιμή 1,3 και  $P$  (mm) η τιμή της μέσης ετήσιας (σημειακής) βροχόπτωσης. Η χωρική μεταβλητότητα του συντελεστή καθορίστηκε μέσω της εφαρμογής της γεωστατιστικής μεθόδου kriging. Οι υψηλές τιμές υποδηλώνουν την ισχυρή διαβρωτικότητα της βροχόπτωσης (Σχήμα 2).

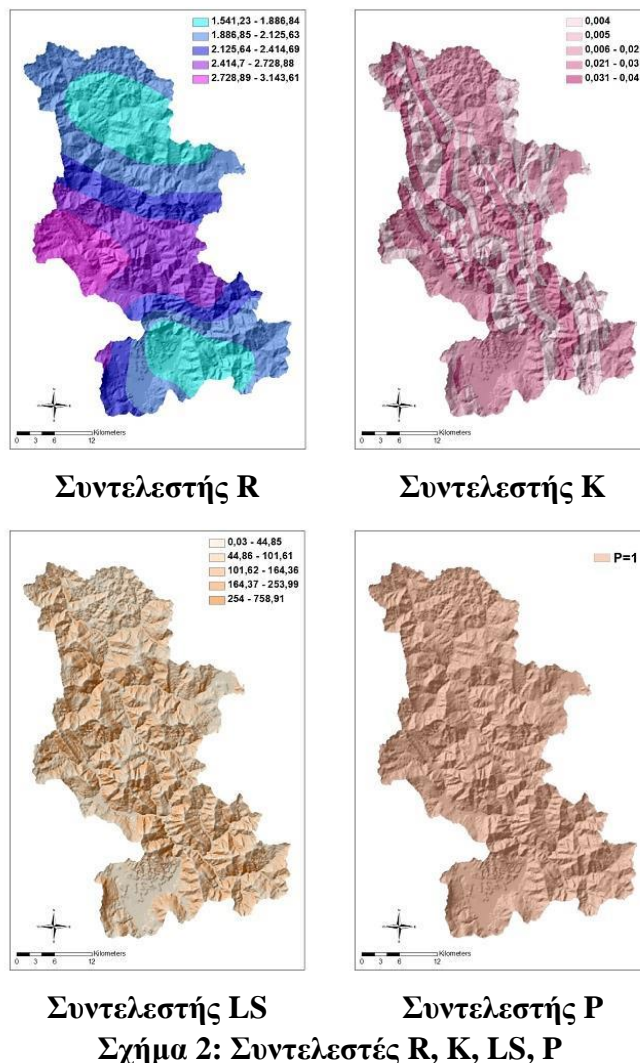
$$R = a \times P \quad (2)$$

Ο συντελεστής διαβρωσιμότητας του εδάφους  $K$  υπολογίζεται επίσης εμπειρικά, λόγω της απουσίας εδαφολογικών δεδομένων, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά (λιθολογία, στρωματογραφία) του γεωλογικού υποβάθρου της λεκάνης απορροής. Σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό αποδίδεται μια εμπειρική τιμή  $K$  η οποία χαρακτηρίζει τη δυνατότητα απόδοσης γεωλογικού υλικού. Οι υψηλές τιμές υποδηλώνουν την παρουσία ευδιάβρωτων γεωλογικών υλικών (Σχήμα 2).

Ο τοπογραφικός συντελεστής  $LS$  προκύπτει από το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου ( $\Psi MA$ ) της λεκάνης απορροής, κλίμακας 1:50.000, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις των Wischmeier and Smith (1978) και McCool et al. (1987, 1989) για την εκτίμηση των συντελεστών κλίσης κλιτύος ( $S$ ) και μήκος κλιτύος ( $L$ ) αντίστοιχα (Εξίσωση 3), όπου  $\lambda$  είναι το μήκος της κλιτύος (m),  $s$  είναι η κλίση της κλιτύος (%) και  $\theta$  η γωνία κλίσης. Οι υψηλές τιμές απαντώνται στις περιοχές με έντονο ανάγλυφο.

$$LS = \left( \frac{\lambda}{72,6} \right)^m \begin{cases} 10,8 \sin \theta + 0,03, s < 9\% \\ 16,8 \sin \theta - 0,50, s \geq 9\% \\ 3,0 (\sin \theta)^{0,8} + 0,56, \lambda < 15ft \end{cases} \quad (3)$$

Ο συντελεστής διαχείρισης του εδάφους κατά της διάβρωσης (P) λαμβάνει παντού μοναδιαία τιμή (Σχήμα 2), λόγω της απουσίας πληροφοριών σχετικά με τη λήψη ή μη κατάλληλων μέτρων προστασίας.



Σχήμα 2: Συντελεστές R, K, LS, P

### 3.2. Εκτίμηση του συντελεστή C

Οι χρήσεις γης καθορίστηκαν σύμφωνα με τους ψηφιακούς χάρτες του CLC (2000) κλίμακας 1.100.000 και του ΕΘΙΑΓΕ κλίμακας 1:20.000. Σε κάθε κωδικοποιημένη χρήση αποδόθηκε μια τιμή του συντελεστή C, η οποία προέκυψε λαμβάνοντας υπόψη διεθνείς και εγχώριες μελέτες, ορίζοντας νέες εμπειρικές τιμές για εκείνες που δεν συναντήθηκαν βιβλιογραφικά (Πίνακας 2).

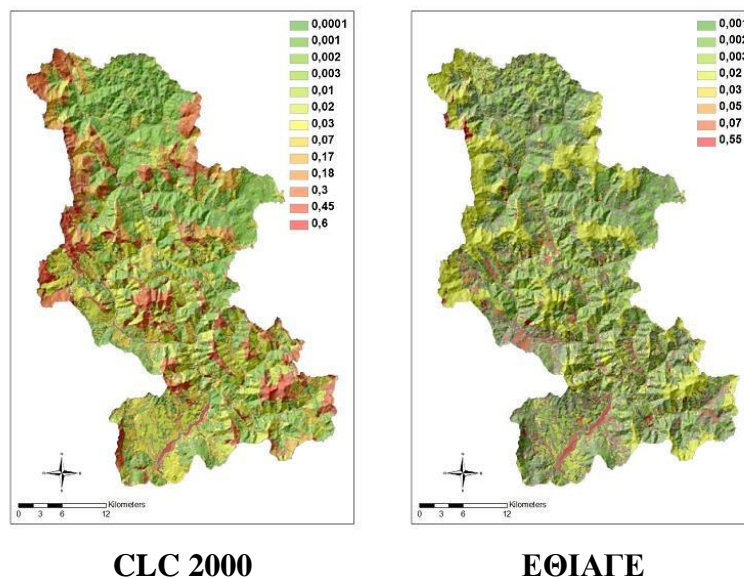
Οι χαμηλότερες τιμές του συντελεστή παρατηρήθηκαν στις περιοχές υψηλής φυτοκάλυψης (πχ δάση), γεγονός που υποδηλώνει την προστατευτική δράση της βλάστησης έναντι του φαινομένου της εδαφικής διάβρωσης (Σχήμα 3). Εξάλλου, είναι φανερή η διαφοροποίηση μεταξύ των δύο προσεγγίσεων, με εκείνη του CLC να

περιλαμβάνει σημαντικά περισσότερες χαμηλής φυτοκάλυψης (ευάλωτες) περιοχές (κόκκινο χρώμα).

**Πίνακας 2: Συντελεστής φυτοκάλυψης C ανά χρήση γης**

CLC 2000			ΕΘΙΑΓΕ		
Κωδ.	Χρήση γης	C	Κωδ.	Χρήση γης	C
112	Ασυνεχής αστικός ιστός	0,001	ΓΚΕ	Γεωργικές καλλιέργειες εγκαταλ.	0,05
133	Χώροι οικοδόμησης	0,01	ΓΚΑ	Γεωργικές καλλιέργειες	0,07
242	Σύνθετες καλλιέργειες	0,18	ΠΧΑ	Πεύκη χαλέπιος	0,002
243	Γεωργική γη (κυρίως) & σημαντικά τμήματα βλάστησης	0,07	ΑΓΟ	Άγονα	0,55
311	Δάσος πλατύφυλλων	0,003	ΟΞΥ	Οξιά	0,003
312	Δάσος κωνοφόρων	0,002	ΠΜΑ	Πεύκη μαύρη	0,002
313	Μικτό δάσος	0,001	ΚΑΣ	Καστανιά	0,003
321	Φυσικοί βοσκοτόποι	0,3	ΕΛΑ	Ελάτη	0,002
322	Θάμνοι και χερσότοποι	0,17	ΔΡΥ	Δρυς	0,003
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	0,03	ΛΙΒ	Λιβάδια, αραιά ξυλ. βλάστηση	0,02
324	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	0,02	ΟΙΚ	Οικισμοί	0,001
331	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	0,6	ΠΑΡ	Παραποτάμια βλάστηση	0,03
332	Απογυμνωμένοι βράχοι	0,02	ΘΑΜ	Θάμνοι	0,02
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	0,45			
511	Υδατορεύματα	0,0001			

Τα δάση δεν αντιμετωπίζονται ως ενιαία οντότητα όσον αφορά την απόδοση του συντελεστή C. Στα μικτά δάση αποδίδεται η χαμηλότερη τιμή, καθώς δεν εμφανίζουν ομοιόμορφα υδρολογικά χαρακτηριστικά. Στα κωνοφόρα δάση (κέδρος, πεύκο, κυπαρίσσι, έλατο κα) αποδίδεται μέση τιμή, καθώς συναντώνται σε περιοχές όπου ευνοείται η επιφανειακή απορροή (λιγότερη διήθηση, ξηρότερο έδαφος, αυξημένη διάβρωση). Στα πλατύφυλλα δάση (οξιά, δρυς, κασταριά, πλατάνια, φουντουκιά κα) αποδίδεται η υψηλότερη τιμή, καθώς συναντώνται σε περιοχές υψηλής εδαφικής υγρασίας (μεγαλύτερη διήθηση, περιορισμένη απορροή, χαμηλότερη διάβρωση). Η ανάπτυξη της φυτοκόμης και η πυκνότητα των συστάδων ελήφθησαν εξίσου υπόψη.

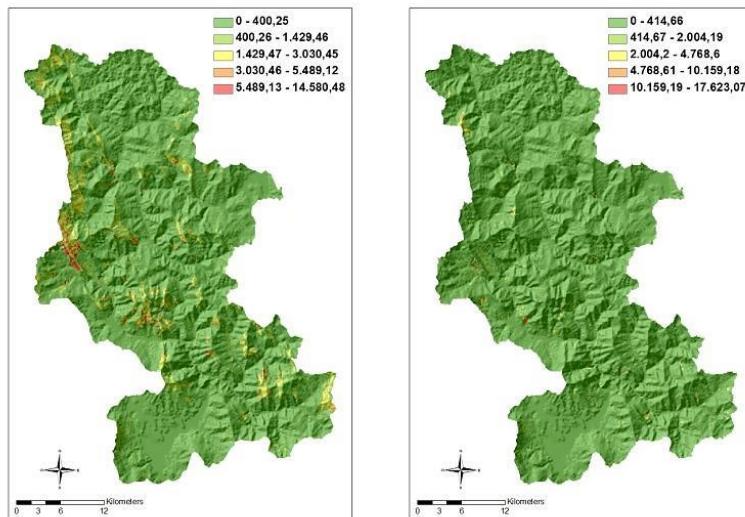


**Σχήμα 3: Συντελεστής C**

### 3.3. Εκτίμηση της στερεοαπορροής

Το ομοίωμα RUSLE εφαρμόστηκε σε ετήσιο και υπέρ-ετήσιο χρονικό βήμα (1965-92) στην υδρολογική λεκάνη του Άνω Ρου του ποταμού Αχελώου, μια φορά για κάθε διαφορετική ανάλυση φυτοκάλυψης. Οι επιμέρους συντελεστές του απέκτησαν τη μορφή ψηφιακού χάρτη και το χωρικό τους γινόμενο απέδωσε την τοπική εδαφική απώλεια ( $t\ ha^{-1}\ y^{-1}$ ) σε κάθε κελί του πλέγματος.





CLC 2000

ΕΘΙΑΓΕ

#### Σχήμα 4: Υπέρ-ετήσια εδαφική απώλεια ανά μονάδα επιφάνειας ( $t\ ha^{-1}\ y^{-1}$ )

Κατά την υπέρ-ετήσια εφαρμογή (Σχήμα 4), οι χαμηλές και μέσες τιμές τοπικής διάβρωσης κυριαρχούν στην πλειοψηφία της έκτασης της λεκάνης και στις δύο προσεγγίσεις. Όσον αφορά τις κλάσεις υψηλής εδαφικής απώλειας, η προσέγγιση με το μοτίβο του ΕΘΙΑΓΕ περιλαμβάνει σημαντικά μεγαλύτερες τιμές με πολύ περιορισμένες εκφάνσεις. Αντίθετα, το μοτίβο του CLC αποδίδει χαμηλότερες ακραίες τιμές με αρκετά ευρύτερη όμως εξάπλωση (εκεί που εντοπίζονται οι υψηλές τιμές C).

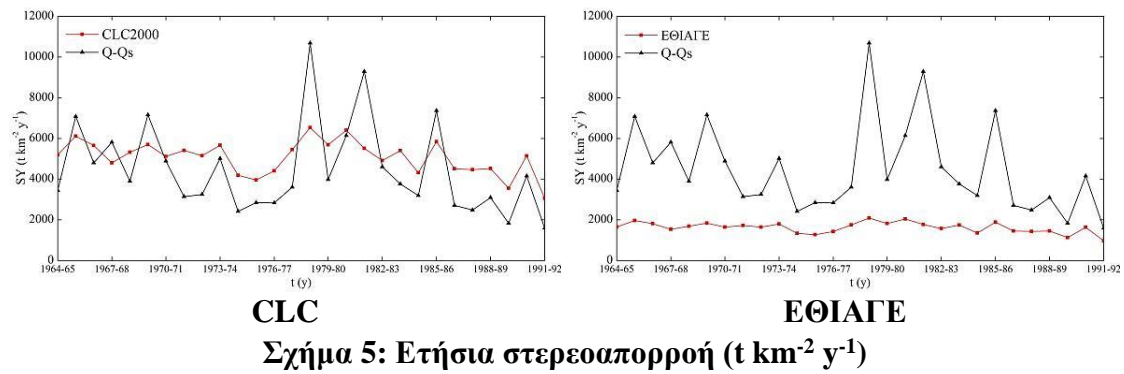
Η επικύρωση των αποτελεσμάτων έγινε μέσω της αξιολόγησης της σύγκλισης της παρατηρημένης με την προσομοιωμένη χρονοσειρά στερεοαπορροής. Η τελευταία προέκυψε πολλαπλασιάζοντας την τοπική εδαφική απώλεια με το συντελεστή στερεοαπορροής της λεκάνης, υπολογιζόμενου από την εξίσωση του Renfro (1972).

#### Πίνακας 3: Στερεοαπορροή ( $t\ km^{-2}\ y^{-1}$ ) – Απόκλιση (%) μεταξύ προσομοιωμένης και συνθετικής χρονοσειράς

Έτος	CLC 2000			ΕΘΙΑΓΕ			Έτος	CLC 2000			ΕΘΙΑΓΕ	
	Q-Qs	Σ <sup>1</sup>	Α <sup>2</sup>	Σ <sup>1</sup>	Α <sup>2</sup>	Σ <sup>1</sup>		Α <sup>2</sup>	Σ <sup>1</sup>	Α <sup>2</sup>		
1964-65	3437.99	5194.65	51.10	1648.32	-52.06	1979-80	3974.16	5689.15	43.15	1817.23	-54,27	
1965-66	7082.48	6112.49	-13.70	1966.74	-72,23	1980-81	6140.35	6409.61	4.39	2041.54	-66,75	
1966-67	4795.32	5657.30	17.98	1808.69	-62,28	1981-82	9290.93	5515.19	-40.64	1770.51	-80,94	
1967-68	5814.88	4795.25	-17.53	1530.28	-73,68	1982-83	4599.30	4910.75	6.77	1569.62	-65,87	
1968-69	3892.25	5321.87	36.73	1688.95	-56,61	1983-84	3757.15	5401.73	43.77	1739.59	-53,70	
1969-70	7158.30	5699.01	-20.39	1832.63	-74,40	1984-85	3190.17	4311.51	35.15	1348.14	-57,74	
1970-71	4883.04	5115.99	4.77	1641.06	-66,39	1985-86	7366.65	5846.53	-20.64	1884.51	-74,42	
1971-72	3138.00	5410.80	72.43	1723.38	-45,08	1986-87	2709.90	4509.38	66.40	1451.99	-46,42	
1972-73	3246.03	5153.32	58.76	1635.94	-49,60	1987-88	2478.47	4461.28	80.00	1431.86	-42,23	
1973-74	5012.88	5666.59	13.04	1791.87	-64,25	1988-89	3089.77	4517.25	46.20	1449.11	-53,10	
1974-75	2413.06	4186.34	73.49	1331.93	-44,80	1989-90	1825.49	3547.43	94.33	1125.87	-38,33	
1975-76	2841.35	3956.55	39.25	1263.05	-55,55	1990-91	4149.61	5137.02	23.80	1631.46	-60,68	
1976-77	2833.92	4399.90	55.26	1419.70	-49,90	1991-92	1591.73	3056.40	92.02	970.50	-39,03	
1977-78	3601.05	5453.76	51.45	1745.86	-51,52	1965-92	4464.29	5012.77	12.29	1601.89	-64,12	
1978-79	10685.75	6537.92	-38.82	2087.70	-80,46							

1 Στερεοαπορροή σε  $t\ km^{-2}\ y^{-1}$  (κατάλληλη μετατροπή από  $t\ ha^{-1}\ y^{-1}$ )

2 Απόκλιση (%), το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει υποεκτίμηση



Τα υπέρ-ετήσια αποτελέσματα υποδηλώνουν πως η προσέγγιση του CLC υπερτερεί, εμφανίζοντας μια αποδεκτή υπερεκτίμηση της παρατηρημένης στερεοαπορροής (12%), σε αντίθεση με την προσέγγιση του ΕΘΙΑΓΕ κατά την οποία παρατηρείται σημαντική υποεκτίμηση (-64,12%). Εξάλλου, κατά την ανά έτος εφαρμογή παρατηρείται ανάλογη συμπεριφορά, με την προσέγγιση του CLC να προσομοιώνει ικανοποιητικά τη γενική τάση της μεταβλητής, σε αντίθεση με αυτή του ΕΘΙΑΓΕ που οδηγεί σε συστηματική υποεκτίμηση με μεγαλύτερες (κατά κανόνα) αποκλίσεις (Πίνακας 3).

Καθώς οι υπόλοιποι συντελεστές του ομοιώματος διατηρούνται αμετάβλητοι, τα σχετικά αποτελέσματα μεταξύ των δύο προσεγγίσεων αποδίδονται στις διαφορετικές περιγραφές του συντελεστή C. Όσον αφορά την παρατηρημένη στερεοαπορροή, οι αποκλίσεις καθορίζονται επιπλέον από το γεωλογικό υπόβαθρο της λεκάνης (επιφανειακή απορροή η οποία ευνοείται από την παρουσία σχηματισμών φλύσχη), την τοπογραφία της (έντονες ζώνες κατολισθήσεων που συχνά φράζουν τα ρέματα και προκαλούν υψηλή αύξηση της στερεοπαροχής), το κλίμα (σημαντικές, μεγάλης έντασης βροχοπτώσεις) καθώς και άλλους εξωγενείς παράγοντες {ποτάμια διάβρωση, σφάλματα μεθοδολογίας (ομοίωμα RUSLE, καμπύλες παροχής-στερεοπαροχής)}.

Συνολικά, η εφαρμογή του ομοιώματος RUSLE με τη χρήση του υποβάθρου CLC απέδωσε καλύτερα, προσεγγίζοντας ορθότερα τις συνθετικές τιμές στερεοαπορροής, επιτρέποντας παράλληλα την ταυτοποίηση των πιο επιρρεπών στη διάβρωση περιοχών.

#### 4. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία αξιολογείται η επίδραση της χωρικής κατανομής των χρήσεων γης στην εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης. Για το σκοπό αυτό εφαρμόζεται σε ετήσιο και υπέρ-ετήσιο χρονικό βήμα (1965-92) το ομοίωμα RUSLE στη λεκάνη απορροής του Άνω Ρου του ποταμού Αχελώου, χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές αναλύσεις χρήσεων γης (CLC, ΕΘΙΑΓΕ).

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, συγκρινόμενα με συνθετικές τιμές στερεοαπορροής κατέδειξαν την υπεροχή (τάση, μικρότερες αποκλίσεις και στις δύο χρονικές κλίμακες) της προσέγγισης που χρησιμοποιεί το υπόβαθρο CLC, ενώ παράλληλα επισημάνθηκαν οι πιο επιρρεπείς στη διάβρωση περιοχές.

## **THE EFFECT OF LAND USE DELINEATION ON SOIL EROSION ESTIMATION**

**Efthimiou Nikolaos**

Agricultural University of Athens, Department of Natural resources Management and Agricultural Engineering, Faculty of Water Resources Management, Iera Odos 75, 11855, Athens, Greece, [efthimiounik@yahoo.com](mailto:efthimiounik@yahoo.com)

### **Abstract**

The study aims to assess the effect of land use delineation on soil erosion estimation. To that end, the empirical RUSLE (Revised Universal Soil Loss equation) model is implemented at the Upper Acheloos River catchment, on a GIS environment. The model estimates soil loss as a linear product of five factors, indicating the effect of climate, soil properties, topography, land use and manmade actions on the phenomenon's generation and evolution. Specifically, the cover management factor (C) is estimated using two separate land cover patterns. The first refers to the CORINE Land Cover (2000) program and the second to a nationwide vegetation map developed by the Greek NAGREF (National Agricultural Research Foundation). The model is implemented annually and inter-annually (1965-82), once for every different land use approximation. Given that all other factors remain unchanged, the divergence between the two approaches is attributed to the C factor variations. The results are validated by evaluating the convergence between the simulated and the observed sediment yield time series. The latter is "constructed" using the sediment rating curve methodology (broken line interpolation method), considering the discharge measurements and the discharge-sediment discharge pairs provided by the Greek PPC (Public Power Corporation). Overall, the model performed better using the CORINE land use data set, better approaching the synthetic sediment yield values, allowing moreover the identification of the most susceptible to erosion areas.

**Key Words:** Soil erosion, RUSLE, Upper Acheloos, Cover management factor C, Land use

### Βιβλιογραφία

- Cihlar, J. 1987. A methodology for mapping and monitoring cropland soil erosion. *Canadian Journal of Soil Science* 67(3): 433-444.
- De Vente, J., J. Poesen, G. Govers and C. Boix-Fayos. 2009. The implications of data selection for regional erosion and sediment yield modelling. *Earth Surf. Processes Landforms* 34(15): 1994-2007.
- Gyssels, G., J. Poesen, E. Bochet and Y. Li. 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Prog. Phys. Geogr.* 29(2): 189-217.
- Koutsoyiannis, D. 2000. Broken line smoothing: a simple method for interpolating and smoothing data series. *Environmental Modeling and Software* 15: 139-149.
- McCool, D.K., L.C. Brown and G.R. Foster. 1987. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE* 30: 1387-1396.
- McCool, D.K., G.R. Foster, C.K. Mutchler and L.D. Meyer. 1989. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE* 32: 1571-1576.
- Morgan, R.P.C. 2005. *Soil Erosion and Conservation*. 3<sup>rd</sup> edition. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies and J.P. Porter. 1991. RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. *J. Soil Water Conserv.* 46(1): 30-33.
- Renard, K.G., G.R. Foster, D.C. Yoder and D.K. McCool. 1994. RUSLE revisited: Status, questions, answers, and the future. *J. Soil Water Conserv.* 49(3): 213-220.
- Renfro, G.W. 1972. Use of erosion equations and sediment delivery ratios for predicting sediment yield. pp. 33-45. In *Sediment yield workshop: Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources Proceedings, USDA Sedim. Labor.* Oxford, Mass., USA
- Van der Knijff, J.M., R.J.A. Jones and L. Montanarella. 2000. Soil erosion risk assessment in Italy. *European Soil Bureau, Joint Research Center of European Commission, EUR 19044 EN*, 52 pp.
- Wang, G., S. Wentz, G.Z. Gertner and A. Anderson. 2002. Improvement in mapping vegetation cover factor for the universal soil loss equation by geostatistical methods with Landsat Thematic Mapper images. *International Journal of Remote Sensing* 23(18): 3649-3667.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning*, Agriculture Handbook No 537, US Department of Agriculture, Washington, USA.
- Ευθυμίου, Ν. (2016). Ανάπτυξη στρατηγικών για την ποσοτική εκτίμηση της στερεοαπορροής από την υδατική διάβρωση με τη χρήση συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων σε ορεινές υδρολογικές λεκάνες. Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.